

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Off nl gungsschrift  
⑩ DE 196 32 889 A 1

⑤ Int. Cl.°:  
**G 01 S 13/32**  
G 01 S 7/03  
H 03 D 7/12  
H 03 L 7/00  
G 01 R 23/00

⑲ Aktenz ichen: 196 32 889.6  
⑳ Anmeldetag: 16. 8. 96  
㉑ Offenlegungstag: 19. 2. 98

DE 19632889 A1

⑦ Anmelder:  
• Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

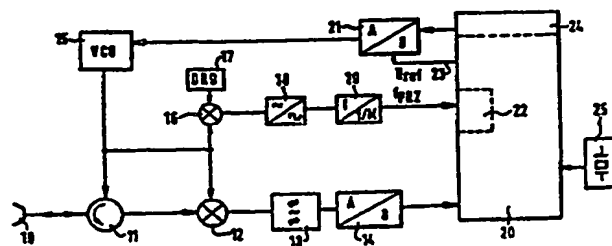
⑦ Erfinder:  
Winter, Klaus, Dr., 71701 Schwieberdingen, DE;  
Mayer, Hermann, 71665 Vaihingen, DE; Wrede,  
Martin, 72770 Reutlingen, DE; Stortz, Christiane,  
71732 Tamm, DE; Engelke, Claus, 70185 Stuttgart,  
DE; Marchthaler, Reiner, 73333 Gingen, DE; Hauk,  
Joachim, 71665 Vaihingen, DE

⑤ Entgegenhaltungen:  
DE 43 34 079 A1  
DE 38 30 892 A1  
US 49 68 868  
US 45 93 287  
US 41 06 020  
EP 04 99 852 A1

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤ Radarsystem mit einem frequenzmodulierten Sendesignal

⑤ Bei einem Radarsystem mit einem frequenzmodulierten Sendesignal, insbesondere einem FMCW-Radarsystem zur Bestimmung von Entfernungen, wird der tatsächliche Istfrequenzhub bestimmt und anstelle des gewünschten Sollfrequenzhubes zur Berechnung der Entfernung eines Radarziels genutzt. Darüber hinaus kann der bestimmte Istfrequenzhub vorteilhafterweise zur Regelung des Frequenzhubes eines frequenzerzeugenden, spannungsgesteuerten Oszillators verwendet werden.



DE 19632889 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen  
BUNDESDRUCKEREI 12 97 702 068/263

Best Available Copy

## Stand der Technik

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Radarsystem mit einem frequenzmodulierten Sendesignal, insbesondere ein FMCW-Radarsystem zur Bestimmung von Entfernungen. Solche Radarsysteme finden Anwendung beispielsweise als Höhenmesser in Flugzeugen oder als Abstandssensoren in Kraftfahrzeugen. In der US 4,106,020 wird ein solches Radarsystem vorgeschlagen, das zur Bestimmung der Materialhöhe in einem Hochofen eingesetzt werden kann. Gemeinsam ist all diesen Anwendungen, daß das Sendesignal des Radarsystems frequenzmoduliert abgestrahlt wird, wobei in der Regel zumindest abschnittsweise lineare Frequenzanstiege vorhanden sind. Durch Mischen eines Teils des jeweils momentanen Sendesignals mit dem von einem Radarziel reflektierten Empfangssignal erhält man ein Differenzsignal, dessen Frequenz auf Grund der Laufzeit des Radarsignals und auf Grund des zumindest abschnittswise linearen Frequenzanstiegs von der Entfernung des Radarziels abhängt. Unter der Voraussetzung, daß der Frequenzanstieg tatsächlich linear erfolgt, gilt der Zusammenhang

$$R = f_{\text{diff}} \cdot c/2 \cdot T_m/\Delta f$$

wobei  $f_{\text{diff}}$  die gemessene Differenzfrequenz ist, die sich während eines linearen Frequenzanstiegs ergibt,  $c$  die Lichtgeschwindigkeit bezeichnet,  $T_m$  die Dauer des gesamten Frequenzanstiegs und  $\Delta f$  der Frequenzhub ist. Nicht berücksichtigt wurde in dieser vereinfachten Betrachtung, daß sich bei einem bewegten Radarziel Frequenzverschiebungen auch auf Grund des Dopplereffektes ergeben und daß in vielen Fällen aufwendigere Modulationsformen wie beispielsweise Sägezahn, Trapez oder Doppeltrapez Anwendung finden. Gemeinsam ist allen konkreten Realisierungen jedoch die grundlegende Notwendigkeit, zumindest abschnittsweise lineare Frequenzveränderungen zu gewährleisten. Diesem Problem widmen sich eine Reihe von Veröffentlichungen, für die stellvertretend die Schriften EP 0 499 952 A1, US 4,593,287 und US 4,968,968 genannt sind. In allen drei Fällen werden Radarsysteme vorgeschlagen, die Mittel und Verfahren zur Überprüfung und Korrektur der Linearität der Modulation implementieren. Mit keiner der vorgeschlagenen Realisierungen wird jedoch die exakte Einhaltung des jeweils gewünschten Frequenzhubes überprüft oder gewährleistet. Gemäß der oben genannten Formel geht jedoch gerade dieser unmittelbar in die Berechnung der Entfernung eines Radarziels ein bzw. wirkt sich bei einem gegebenen Radarziel unmittelbar auf die Größe der erhaltenen Differenzfrequenz aus.

Weicht der tatsächliche Istfrequenzhub der Modulation nun auf Grund von Temperaturschwankungen, Bauteiltoleranzen oder aus anderen Gründen von dem jeweils gewünschten Sollfrequenzhub ab, erhält man bei der Berechnung der Entfernung des Radarziels einen fehlerbehafteten Wert. Darüber hinaus können die erhaltenen Differenzfrequenzen unter Umständen außerhalb der für einen optimalen Betrieb dimensionierten Signalverarbeitungsfilter liegen, so daß sie gar nicht oder nicht optimal verarbeitet werden können.

In der bereits oben genannten US 4,106,020 wird ein FMCW-Radarsystem zur Bestimmung von Entfernungen

gen vorgestellt, bei dem unerwünschte Schwankungen des Frequenzhubes und/oder der Rampendauer der Modulation durch eine Skalierungsvorrichtung kompensiert werden. Dabei wird die jeweilige, ein Radarziel repräsentierende Differenzfrequenz mittels einer Zählvorrichtung bestimmt, wobei die Zähldauer in Abhängigkeit des Frequenzhubes und der Rampendauer variiert wird. Erhöht sich der Frequenzhub beispielsweise auf Grund von Temperaturveränderungen, wird die Zähldauer automatisch verkürzt, so daß der für ein detektiertes Radarziel jeweils angezeigte Zählerstand, unabhängig von dem jeweiligen Wert des Frequenzhubes ist. Die hier vorgeschlagene, sehr trickreiche Lösung findet Anwendung zur Bestimmung der Materialhöhe in einem Hochofen, d. h. es gibt in diesem Fall nur ein zu vermessendes Radarziel. Bei der Anwendung eines solchen Radarsystems beispielsweise in oder an einem Kraftfahrzeug müssen jedoch beliebige, mehrere Radarziele in unterschiedlichen Entfernungen gleichzeitig verarbeitet werden. Für diesen Fall bietet die vorgeschlagene Lösung nicht genügend Flexibilität.

## Aufgabe, Lösung und Vorteile der Erfindung

Ziel der vorliegenden Erfindung ist es dementsprechend, ein Radarsystem vorzuschlagen, das mit Hilfe der an sich bekannten Verfahren insbesondere die Entfernung beliebiger, mehrerer Radarziele bestimmen kann und dabei Fehler, die sich aus einer unerwünschten Veränderung des jeweiligen Frequenzhubes ergeben, so weit wie möglich vermeidet. Darüber hinaus kann die erfindungsgemäße Realisierung auch verwendet werden, um die Genauigkeit bei Radarsystemen, die eine Frequenzmodulation zur Pulskompression verwenden, zu erhöhen.

Entsprechend dem kennzeichnenden Teil des Hauptanspruchs wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß Mittel vorgesehen sind, die den jeweiligen tatsächlichen Istfrequenzhub der Modulation explizit, d. h. als quantifizierbaren Zahlenwert bestimmen.

Entsprechend einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird dieser explizit bestimmte, tatsächliche Istfrequenzhub anstelle des gewünschten Sollfrequenzhubes zur Berechnung insbesondere der Entfernung eines Radarziels verwendet.

Entsprechend einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung, wird aus dem bestimmten tatsächlichen Istfrequenzhub und dem jeweils gewünschten Sollfrequenzhub ein Differenz- oder Fehlersignal gebildet, mit dem eine, die Frequenzmodulation steuernde, Spannungsrampe korrigiert wird. Dies kann vorteilhafterweise dadurch geschehen, daß die Referenzspannung eines diese Spannungsrampe erzeugenden D/A-Wandlers in Abhängigkeit von dem genannten Fehlersignal variiert wird.

Vorteilhafterweise kann man zur Realisierung des erfindungsgemäßen Radarsystems Bauelemente mit vergleichsweise großen Toleranzen verwenden, d. h. insbesondere zur Erzeugung des Frequenzhubes Standardbauelemente einsetzen. Trotzdem ist kein Abgleich bzw. keine Kalibrierung zur Einstellung und Gewährleistung eines bestimmten, gewünschten Frequenzhubes notwendig. Man erspart sich somit einen aufwendigen und kostenintensiven Arbeitsschritt.

Darüber hinaus werden Schwankungen des Frequenzhubes auf Grund von Alterung der Bauteile, Temperaturveränderungen o. ä. jederzeit und nicht erst nach jedem Kalibrierungsprozeß ausgeglichen.

Best Available Copy

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist anhand nachfolgender Zeichnung näher beschrieben und erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild eines Radarsystems mit der erfindungsgemäßen Realisierung,

Fig. 2 beispielhaft den Frequenzverlauf einer trapezförmigen Frequenzmodulation und

Fig. 3 ein Flußdiagramm, das den in einer Rechen- und Steuereinheit gemäß Fig. 1 ablaufenden Prozeß zur Bestimmung des Istfrequenzhubes verdeutlicht.

#### Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In Fig. 1 ist eine Sende-/Empfangsantenne 10 mit einer Sende-/Empfangsweiche 11 verbunden. Diese erhält einerseits das Sendesignal des Radarsystems, das durch einen spannungsgesteuerten Oszillator 15 erzeugt wird und liefert andererseits die Empfangssignale des Radarsystems an einen Mischer 12. Gleichzeitig erhält der Mischer 12 einen Anteil des momentanen Sendesignals vom Oszillator 15. Die bei der Mischung entstehenden Differenzfrequenzen werden über ein Dynamik- und Antialiasing-Filter 13 herausgefiltert und einem Analog-Digital-Wandler 14 zugeführt. Von dort gelangen sie als digitale Signale an eine Rechen- und Steuereinheit 20, die u. a. einen digitalen Frequenzzähler 22 und einen digitalen Speicher 24 enthält. Außerdem wird die Rechen- und Steuereinheit 20 mit einem quartzgenauen Systemtakt 25 versorgt. Zur Steuerung der Frequenz des spannungsgesteuerten Oszillators 15 ist die Rechen- und Steuereinheit 20 mit dem Oszillator über einen Digital-Analog-Wandler 21 verbunden, wobei die Referenzspannung des Digital-Analog-Wandlers 21 über eine Verbindung 23 ebenfalls von der Rechen- und Steuereinheit 20 eingestellt werden kann.

Zur erfindungsgemäßen Bestimmung des Frequenzhubes der Modulation wird ein weiterer Anteil des Sendesignals, welches der Oszillator 15 erzeugt, einem zweiten Mischer 16 zugeführt. Dort wird dieser Signalanteil mit einer konstanten Frequenz, die ein dielektrisch stabilisierter Oszillator 17 erzeugt, heruntergemischt. Das heruntergemischte, immer noch formgleiche Sendesignal wird einer Pulsformung 18 und einer Frequenzteilung 19 um einen Faktor M unterzogen und gelangt als Prüfsignal fPRZ an die Rechen- und Steuereinheit 20. Diese kann nun mit einem digitalen Zähler 22 die Frequenz des aus dem Sendesignal abgeleiteten Prüfsignals fPRZ bestimmen.

Fig. 2 zeigt über der Zeitachse t einen möglichen, hier trapezförmigen Frequenzverlauf einer Modulation, bei dem zwischen zwei Zeitabschnitten 201 und 202, in denen die Frequenz konstant bleibt, ein Frequenzanstieg 203 bzw. ein Frequenzabfall 204 erfolgt. Wesentlich ist dabei, daß zwischen einer maximalen Frequenz f2 im Zeitabschnitt 202 und einer minimalen Frequenz f1 im Zeitabschnitt 201 lineare Frequenzanstiege bzw. -abfälle auftreten. Die Dauer eines solchen Frequenzanstiegs bzw. -abfalls wird in dieser Realisierung durch die Taktfrequenz der Rechen- und Steuereinheit 20 bestimmt und ist in Fig. 2 mit der Variablen Tm bezeichnet. Der Abstand von der maximalen Frequenz f2 zur minimalen Frequenz f1 ist der Frequenzhub  $\Delta f$  der Modulation.

Fig. 3 zeigt in Form eines Flußdiagramms, wie die Rechen- und Steuereinheit 20 den Istfrequenzhub eines Modulationszyklus bestimmen kann. Bezugnehmend auf alle drei Figuren wird dieser Vorgang nun erläutert.

Die Rechen- und Steuereinheit 20 gibt synchron zu einem Systemtakt aus dem Speicher 24 digitale Zahlenwerte aus. Diese werden über den D/A-Wandler 21 in eine analoge Spannung gewandelt, mit der die Frequenz des spannungsgesteuerten Oszillators 15 eingestellt wird. Zur Erzielung eines trapezförmigen Modulationsverlaufs entsprechend Fig. 2 wird zunächst während eines Zeitabschnitts 201 mehrfach derselbe digitale Zahlenwert ausgegeben. Der spannungsgesteuerte Oszillator 15 liefert daraufhin eine konstante Frequenz f1. Während dieser Zeit 201 kann die Rechen- und Steuereinheit entsprechend Block 31 mit dem Zähler 22 die Frequenz des ersten Prüfsignals fPRZ1 bestimmen. Nach der Zeit 201 gibt die Rechen- und Steuereinheit 20 digitale Zahlenwerte aus, die so dimensioniert sind, daß der spannungsgesteuerte Oszillator 15 eine linear ansteigende Frequenz liefert. Nach einer Zeit Tm, die aufgrund des quarzstabilisierten Systemtakts hinreichend genau eingehalten wird, wird die Erhöhung der Frequenz gestoppt. Der Oszillator 15 liefert nun als Sendefrequenz die Frequenz f2. Nun kann die Rechen- und Steuereinheit 20 während des Zeitabschnitts 202 und entsprechend Block 32 wiederum mit Hilfe des Zählers 22 die Frequenz des Prüfsignals fPRZ2 messen. Entsprechend Block 33 berechnet sie dann den tatsächlichen Istfrequenzhub  $\Delta f_{ist}$ , indem sie die Differenz der beiden gemessenen Frequenzen fPRZ2 und fPRZ1 bildet und den dann erhaltenen Wert entsprechend dem Teilerfaktor M der Frequenzteilung 19 skaliert.

In einer ersten vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird der so berechnete Frequenzhub  $\Delta f_{ist}$  gemäß Block 34 einem anderen Programmteil zur Berechnung der Entfernung des Radarziels übergeben. Durch die Verwendung des bestimmten, tatsächlichen Frequenzhubes wird die Genauigkeit der Entfernungsberechnung deutlich gesteigert. Vorteilhafterweise beginnt die Kontrolle des Istfrequenzhubes danach erneut (35).

In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung gemäß Block 36 kann der bestimmte Istfrequenzhub  $\Delta f_{ist}$  alternativ oder ergänzend zu Block 34 genutzt werden, ein Fehlersignal E zu bestimmen, daß sich aus der Differenz zwischen dem bestimmten Istfrequenzhub  $\Delta f_{ist}$  und dem gewünschten Sollfrequenzhub  $\Delta f_{soll}$  ergibt. Mit Hilfe dieses Fehlersignals E kann die Rechen- und Steuereinheit 20 nun gemäß Block 37 die Referenzspannung des Digital-Analog-Wandlers 21 über die Verbindung 23 korrigieren. Dies hat zur Folge, daß die Steuerspannung des Oszillators 15 im nächsten Modulationszyklus bei gleichen digitalen Zahlenwerten größer oder kleiner ist und insofern auch der Frequenzhub des Modulationszyklus vergrößert oder verkleinert wird. Die Einstellung der Referenzspannung des D/A-Wandlers 21 kann dabei beispielsweise über einen hier nicht gezeigten zweiten D/A-Wandler erfolgen, der von der Rechen- und Steuereinheit 20 mit Zahlenwerten, die aus dem Fehlersignal E hergeleitet werden, versorgt wird.

#### Patentansprüche

1. Radarsystem mit einem frequenzmodulierten Sendesignal, insbesondere FMCW-Radarsystem für Kfz-Anwendungen, mit Mitteln, um aus den von angestrahlten Objekten reflektierten Signalen insbesondere deren Entfernung zum Radarsystem zu berechnen, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel vorhanden sind, um den tatsächlichen Istfrequenzhub  $\Delta f_{ist}$  der Frequenzmodulation als quantifizier-

baren Zahlenwert zu bestimmen.

2. Radarsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung des tatsächlichen Istfrequenzhubes  $f_{\text{hst}}$  Mittel und/oder Anordnungen vorhanden sind,

- die einen Teil des modulierten Sendesignals aus dem Sendesignalpfad auskoppeln,
- die dieses ausgekoppelte Sendesignal mit Hilfe eines Oszillators heruntermischen,
- die dieses heruntergemischte Signal einer Pulsformung unterziehen
- und die eine Frequenz  $f_{\text{PRZ}}$  dieses pulsgeformten Signals bestimmen.

3. Radarsystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel vorhanden sind, die den tatsächlichen Istfrequenzhub  $f_{\text{hst}}$  der Modulation aus der Differenz zweier Frequenzen  $f_{\text{PRZ1}}$  und  $f_{\text{PRZ2}}$  bestimmen, die der jeweils niedrigsten und höchsten Sendefrequenz innerhalb eines Modulationszyklus entsprechen oder die aus der jeweils niedrigsten und höchsten Sendefrequenz innerhalb eines Modulationszyklus hergeleitet worden sind.

4. Radarsystem nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel vorhanden sind, die aus dem bestimmten, tatsächlichen Istfrequenzhub  $f_{\text{hst}}$  und einem gewünschten Sollfrequenzhub  $f_{\text{hsoll}}$  eine Differenz  $f_{\text{hst}} - f_{\text{hsoll}}$  bilden und die damit eine einen VCO ansteuernde Spannungsrampe korrigieren.

5. Radarsystem nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in Berechnungen von Radarzieldaten, die direkt oder indirekt vom Frequenzhub abhängen, der bestimmte, tatsächliche Istfrequenzhub  $f_{\text{hst}}$  eingeht.

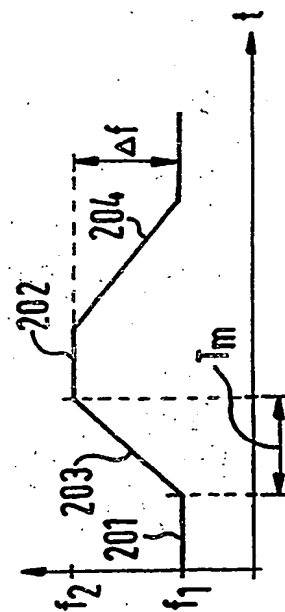
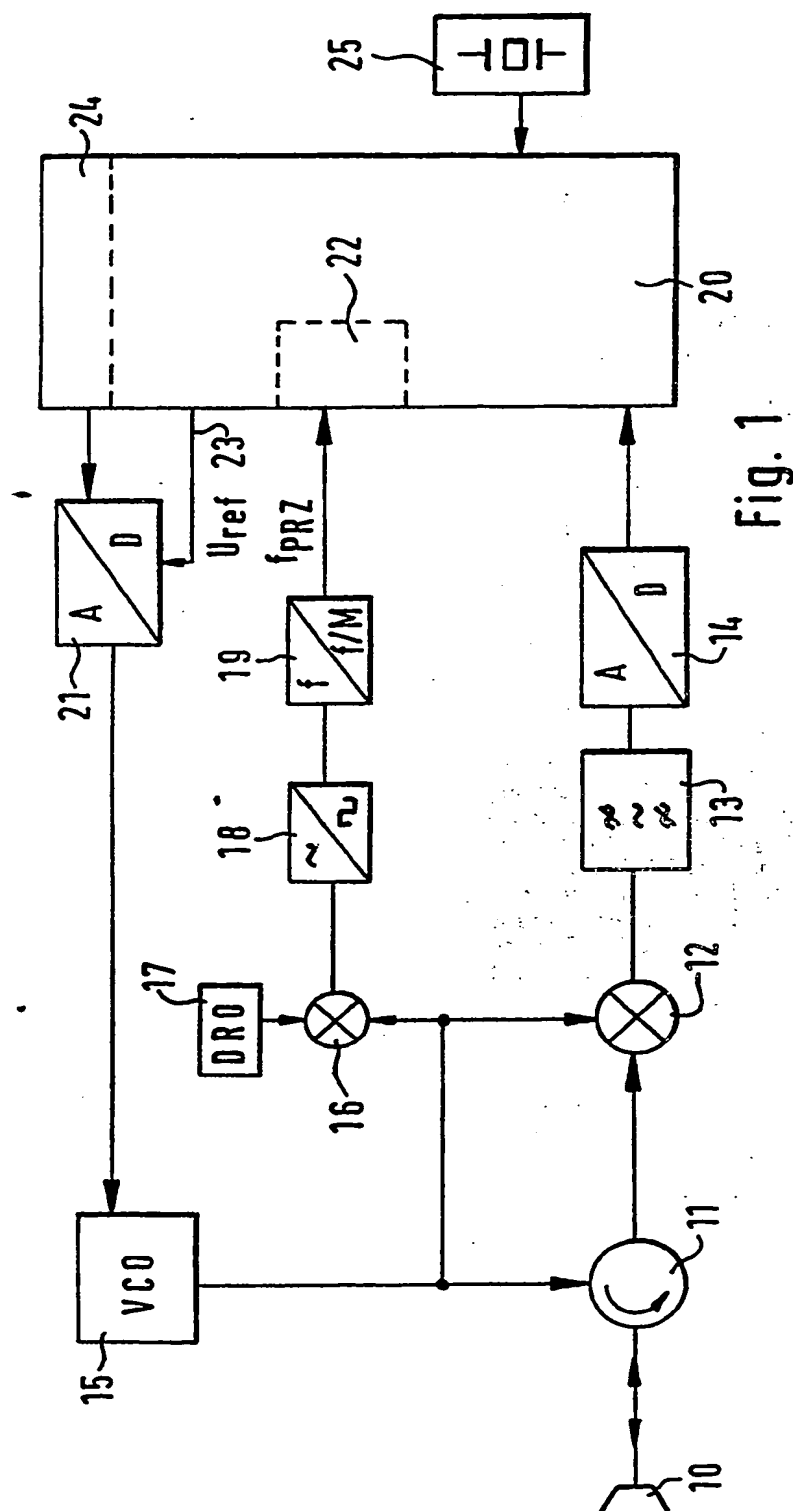
6. Radarsystem nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das zur Bestimmung des Istfrequenzhubes  $f_{\text{hst}}$  ausgekoppelte Sendesignal mit einem Oszillator gemischt wird, der durch einen dielektrischen Resonator stabilisiert ist.

7. Radarsystem nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulsformung aus einem Eingangssignal mit weniger steilen Flanken ein Ausgangssignal mit steileren Flanken erzeugt mit dem Ziel, dessen Grundfrequenz mit einem digitalen Zähler zu bestimmen.

8. Radarsystem nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Korrektur der den VCO ansteuernden Spannungsrampe die Referenzspannung eines D/A-Wandlers variiert wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

Best Available Copy



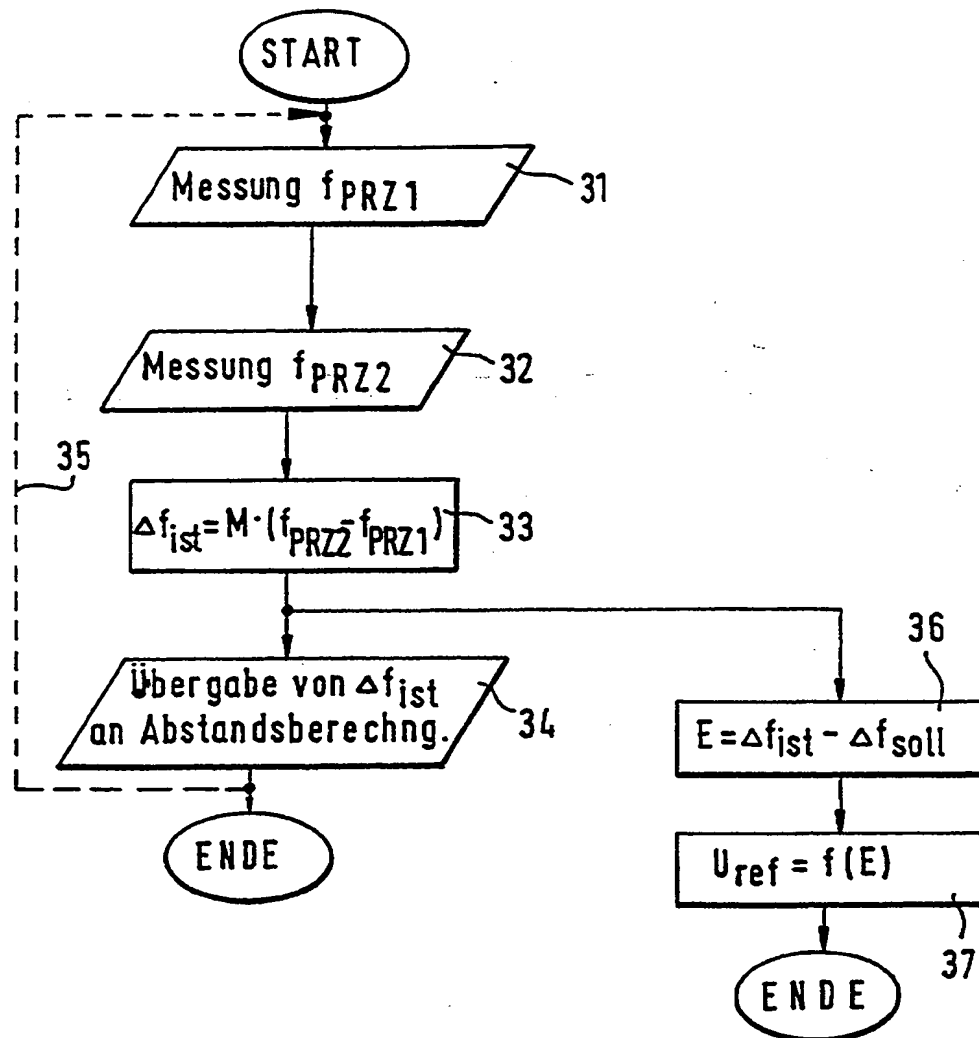


Fig. 3